

LAMOST J054813.19+240333.7: Entdeckung eines neuen, photometrisch variablen CP4-(„He-weak“)-Sterns

Stefan Hümmerich und Klaus Bernhard

Abstract: *LAMOST J054813.19+240333.7 is a new photometrically variable He-weak (CP4) star of spectral type $kB9$ $hB4$ $HeB9$ V (Si) with the ephemeris $BJD(max)=2460237.298(9)+2.491(9) \times E$.*

In der Astrophysik spricht man von chemisch pekuliären (CP) Sternen, wenn ihre Photosphäre, also die oberflächennahe Atmosphärenschicht, ungewöhnliche Häufigkeiten bestimmter Elemente aufweist – darunter oft Metalle oder sogar seltene Elemente wie Seltenerdmetalle. Solche Abweichungen sind nicht nur eine auffällige Besonderheit im Sternspektrum, sie liefern auch wertvolle Hinweise für das Verständnis der physikalischen Prozesse im Sterninneren und der Entstehungsgeschichte dieser Objekte.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Ausbildung solcher chemischen Auffälligkeiten ist das Vorhandensein einer radiativen Außenzone in Kombination mit einer vergleichsweise langsamen Rotation. Diese Bedingungen führen zu einer stabilen Schichtung der Atmosphärenschichten, in der Prozesse wie Diffusion und Strahlungsdruck selektiv bestimmte Elemente anreichern oder absenken können.

Theoretische Modelle zeigen, dass Sterne mit radiativen Außenzonen typischerweise etwas heißer und massereicher als unsere Sonne sind, meist mit mehr als etwa 1,5 Sonnenmassen. Im Gegensatz dazu besitzen sonnenähnliche Sterne konvektive Außenschichten, in denen ein ständiger Materialaustausch stattfindet. Diese turbulente Durchmischung verhindert die Ausbildung ausgeprägter chemischer Anomalien, sodass chemisch pekuliäre Erscheinungen dort nicht beobachtet werden (Bernhard & Hümmerich, 2016).

Nach Preston (1974) unterscheidet man vier Hauptklassen von CP Sternen:

CP1 (Am-Sterne, 'metallic-line stars'):

A- und frühe F-Sterne ohne starke Magnetfelder. Auffällig sind Abweichungen zwischen den Spektraltypen (Ca II K-Linie wirkt zu „früh“, Metall-Linien zu „spät“). Typisch sind Unterhäufigkeiten von Ca und Sc sowie Überhäufigkeiten schwererer Elemente. Meistens treten sie in engen Doppelsternsystemen (2-10 Tage Umlaufzeit) auf. Die verlangsamte Rotation durch Gezeitenkräfte ermöglicht Diffusionsprozesse, die das chemische Muster prägen. Oberhalb von ca. 100 km/s Rotationsgeschwindigkeit setzt jedoch meridionale Zirkulation ein, die die Schichtungen durchmischt. Diese Sterne sind kaum rotationsveränderlich, weisen jedoch manchmal Pulsationen auf.

CP2 (magnetische Ap-Sterne):

Diese Sterne besitzen starke, global geordnete Magnetfelder (bis mehrere 10 kG). Durch magnetische Diffusion entstehen sog. chemische Flecken. Diese verursachen periodische Veränderungen in Spektrum und Helligkeit, die durch das „oblique rotator

model“ erklärt werden; die Rotationsperiode entspricht dabei direkt den beobachteten Schwankungen. Dies sind die klassischen α^2 -CVn-(ACV)-Sterne.

CP3 (HgMn-Sterne):

Diese Objekte zeigen extrem starke Linien von ionisiertem Quecksilber und Mangan, die auf eine Überhäufigkeit von teils bis zu sechs Größenordnungen im Vergleich zur Sonne hindeuten. Ursachen sind u.a. radiativ getriebene Diffusion, Massenausstoß, lichtinduzierte Drift und evtl. schwache Magnetfelder. Ein konsistentes Modell für das beobachtete Häufigkeitsmuster fehlt bisher. Zum Teil zeigen diese Sterne auch chemische Flecken und damit schwache Rotationsvariabilität.

CP4 (He-weak-Sterne):

Heiße, magnetische B-Sterne (meist B3 bis B7), die ungewöhnlich schwache He I Linien im Vergleich zur effektiven Temperatur zeigen, sowie Variabilität in Spektrum, Helligkeit, Radialgeschwindigkeit, Farbe und Magnetfeld. Drei Untergruppen wurden beschrieben: die „Si Sterne“, die pekuliär starke Si II Linien zeigen (aber bei höheren Temperaturen als die klassischen Ap Si Sterne); die „PGa Sterne“, die Überhäufigkeiten von P and Ga aufweisen und die „SrTi Sterne“ mit prominenten Sr and Ti Linien (z.B. Gray & Corbally, 2009, S. 130 ff.).

In diesem Beitrag berichten wir über die Identifikation des Sterns LAMOST J054813.19+240333.7 als rotationsveränderlicher CP4-(=He-weak)-Stern aus der Untergruppe der Si Sterne, der als Nebenprodukt einer Suche nach neuen CP3-(HgMn)-Sternen gefunden wurde. Nach unserem Wissensstand ist dieses Objekt bisher weder als CP-Stern noch als veränderlicher Stern bekannt.

Im Gaia DR3 (Gaia Collaboration, 2023) sind folgende Daten für LAMOST J054813.19+240333.7 verfügbar:

RA, DEC (J2000):	05 48 13.1975, +24 03 33.7263
ID:	Gaia DR3 3427748252873843584
G _{mag} :	11.823437
Parallaxe:	0.6182 ± 0.0271 mas

Spektrum

In unserer Analyse verwenden wir ein „low-resolution“ ($R \sim 1800$) Spektrum von LAMOST J054813.19+240333.7 aus dem DR10. Abbildung 1 zeigt dieses Spektrum im Vergleich zu den Spektren eines B3 V und eines B9 V Standards aus der *libr18_225* Bibliothek von Standardsternspektren, die auf den Webseiten von Richard O. Gray erhältlich ist unter <https://www.appstate.edu/~grayro/mkclass/> und von der Auflösung her sehr gut zu den LAMOST Spektren passt.

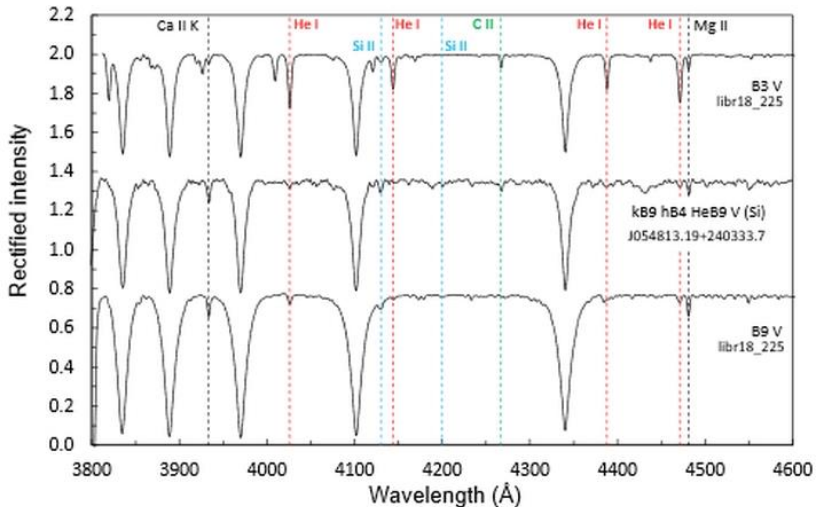


Abbildung 1: Spektrum von LAMOST J054813.19+240333.7 (mittig) im Vergleich zu den Spektren eines B3V Standards (oben) und eines B9V Standards (unten) aus Richard O. Grays *libr18_225* Bibliothek.

Es ist augenfällig, dass das Spektrum des untersuchten Sterns weder gut zum einen, noch zum anderen Standardspektrum passt – was ein direkter Hinweis darauf ist, dass wir es mit einem CP-Stern zu tun haben. Teilaspekte hingegen passen sehr gut: Das Wasserstofflinienprofil passt gut zum B3 V Standard, ist nur geringfügig „später“ und wird hier mit hB4 V klassifiziert. Die He I Linien wiederum sind viel zu schwach für einen frühen B-Stern, passen aber sehr gut zu dem gezeigten B9 V Standard und werden hier mit HeB9 angegeben. Dass der Stern wirklich eine so hohe Temperatur aufweist, wie anhand des Wasserstofflinienprofils zu erwarten ist, wird z.B. durch die prominente C II $\lambda 4267$ Å Linie belegt, die in den Spektren der B Hauptreihensterne bei dieser Auflösung bis etwa B7 zu sehen ist. Zudem zeigt der Stern auffällig starke Si II Linien, sodass es sich um einen CP4 Stern vom Si-Typ handelt.

Der Notationsweise von Garrison & Gray (1994) folgend („refined MK classification“), erhalten wir somit einen Spektraltyp von **kB9 hB4 HeB9 V (Si)**. („k“ gibt dabei den Spektraltyp basierend auf der Ca II K Linie an, „h“ ist der Spektraltyp basierend auf den Wasserstofflinien und „He“ der Spektraltyp basierend auf der Stärke der He I Linien. Bei einem nicht pekulären Objekt erhält man hier in aller Regel konsistente Ergebnisse, also $SpT(k) = SpT(h) = SpT(He)$.)

Photometrie

Da aufgrund des spektroskopischen Befunds Rotationslichtwechsel mit einer Periode von einigen Tagen und geringer Amplitude zu erwarten ist, haben wir die Daten des NASA Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS; Ricker et al., 2015) analysiert. Die

Daten der beiden beobachteten Sektoren wurde über das Barbara A. Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST) heruntergeladen.

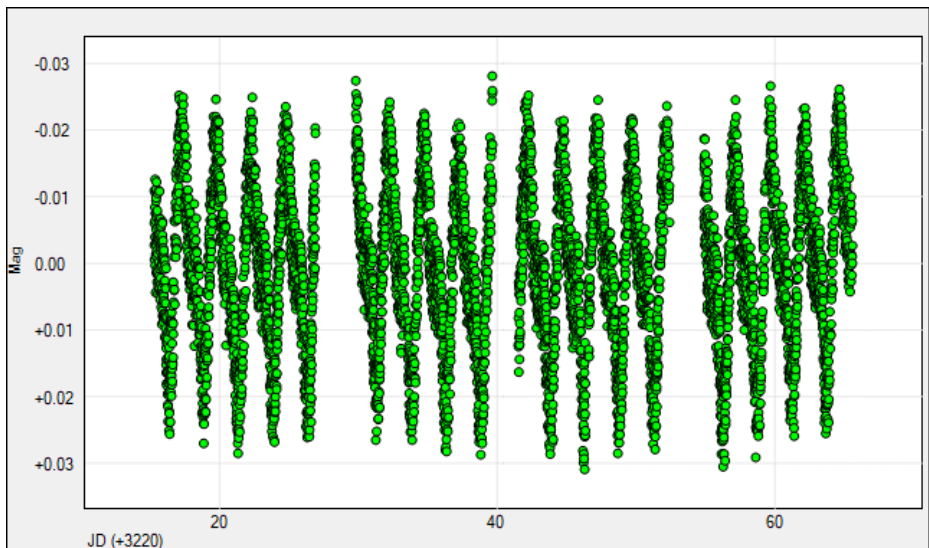


Abbildung 2: TESS-Daten der Sektoren 71 und 72 (BJD-2457000 vs. Delta mag Werte).

Die Analyse der TESS-Daten erfolgte mittels der Methode Lomb-Scargle GLS des Programmes Peranso (Paunzen & Vanmunster, 2016).

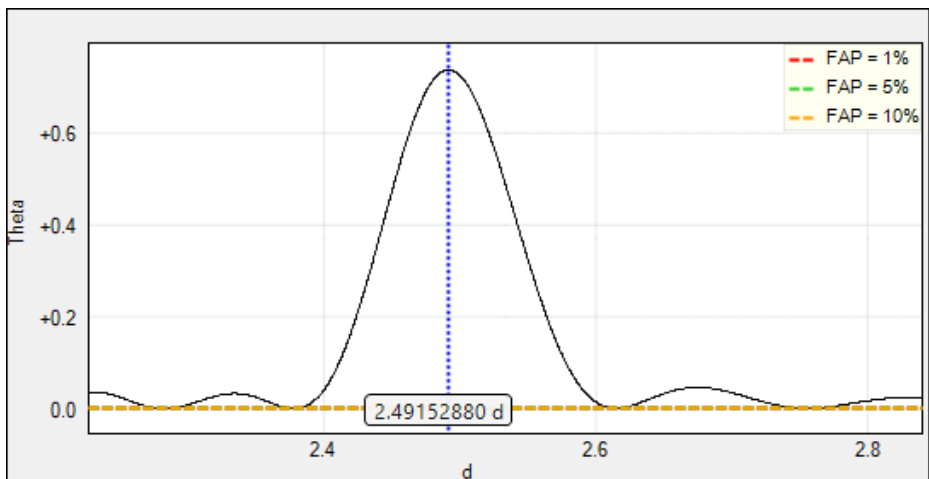


Abbildung 3: Periodogramm der TESS-Daten, ausgewertet mit Peranso.

Als Ephemeride für das Maximum erhalten wir:

$$(1) \text{ BJD(max)} = 2460237.298(9) + 2.491(9) \times E$$

Die mit dieser Ephemeride dargestellte Lichtkurve ist in Abbildung 4 dargestellt.

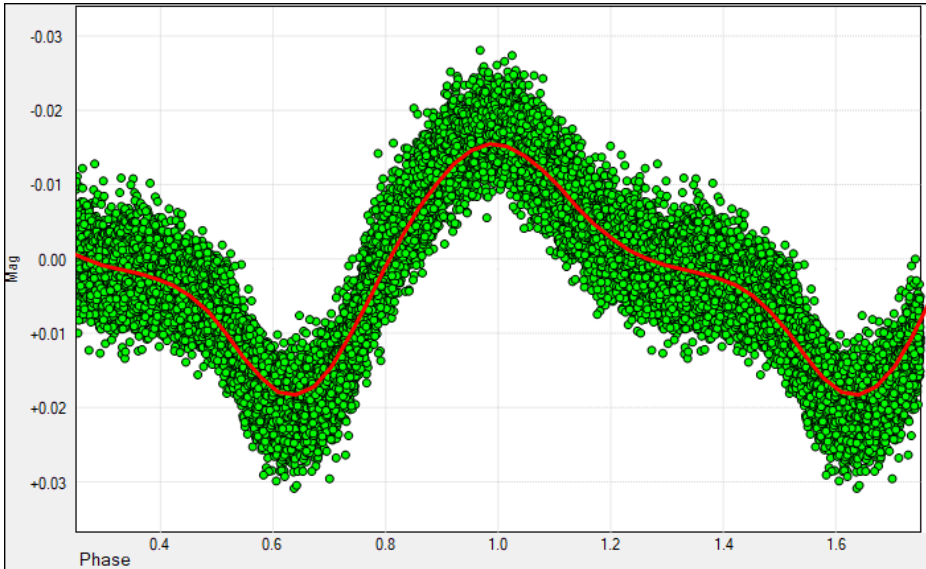


Abbildung 3: Reduzierte Lichtkurve der TESS Daten mit Ephemeride (1).

Fazit

Aufgrund seiner spektroskopischen Besonderheiten haben wir den Stern LAMOST J054813.19+240333.7 als einen typischen CP4- („He-weak“)-Stern des Si-Typs identifizieren können. Der beobachtete Lichtwechsel mit einer Periode von etwa 2,5 Tagen, einer Amplitude von ca. 0,015 mag und der typischen asymmetrischen Lichtkurve passt bestens zu dieser Klassifikation. Damit erweitert LAMOST J054813.19+240333.7 die kleine Gruppe bekannter CP4-Sterne und stellt ein interessantes Objekt für künftige spektroskopische Detailuntersuchungen dar.

Danksagung: Für diese Arbeit wurde die Datenbank VizieR und der International Variable Star Index (VSX) der AAVSO sowie das Barbara A. Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST) verwendet. Diese Arbeit nutzt des weiteren Daten des Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope LAMOST. (The Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope is a National Major Scientific Project built by the Chinese Academy of Sciences. Funding for the project has been provided by the National Development and Reform Commission. LAMOST is operated and managed by the National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences.)

Literatur

Bernhard, K., Hümmerich, S., 2016, BAV Rundbrief 3, 15
https://www.bav-astro.de/sfs/rundbrief/BAVRb_2016_3.pdf
Gaia Collaboration (Vallenari, A., et al.) 2023, A&A, 674A, 1G
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023A%26A...674A...1G/abstract>
Garrison, R. F., Gray, R. O., 1994, AJ, 107, 1556
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1994AJ....107.1556G%2F/abstract>
Gray, R. O.; Corbally, J., 2009, Stellar Spectral Classification. Princeton University Press.
Paunzen, E.; Vanmunster, T., 2016, AN, 337, 239
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2016AN....337..239P>
Preston, G. W., 1974, Annual Rev. Astron. Astrophys., 12, 257
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1974ARA%2526A..12..257P>
Ricker, G. R., Winn, J. N., Vanderspek, R., et al. 2015, J. Astron. Telesc. Instrum. Syst., 1, 014003
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015JATIS...1a4003R/abstract>

Autoren:

Stefan Hümmerich	Klaus Bernhard
D-56338 Braubach	A-4030 Linz
E-Mail: ernham@rz-online.de	E-Mail: Klaus.Bernhard@liwest.at